Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 102 (2011)
Heft: 3

Artikel: Übersicht über ein praktisch unerschöpfliches Wärmepotenzial
Autor: Walker, Andreas
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-856794

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 06.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Übersicht über ein praktisch unerschöpfliches Wärmepotenzial

Technologien und Projekte zur Erschliessung der Geothermie

Im Innern der Erde herrschen Temperaturen von bis zu 6000 °C. Die Nutzung dieser klimafreundlichen Energiequelle zur Strom- und Wärmeproduktion ist zwar sinnvoll, birgt aber manchmal auch Gefahren. Ein Blick auf die Grundlagen der Geothermie sowie auf die Nutzungstechnologien und aktuelle Projekte.

Andreas Walker

Das Innere der Erde ist glühend heiss. Auf der Erdoberfläche merken wir davon kaum etwas. Einige Orte unseres Planeten, an denen Vulkane, Geysire und heisse Quellen vorkommen, zeigen uns jedoch, dass es im Erdinnern brodelt. Dadurch werden unterirdische Wasservorkommen und Gesteine von der Erde erhitzt. Diese Energiequelle eignet sich sehr gut für die Wärmegewinnung und Stromproduktion. Bei der Geothermie kann Wärme gewonnen werden, ohne dass ein Rohstoff abgebaut wird. Die geothermische Wärme- und Stromproduktion ist somit eine emissionsfreie und klimafreundliche Energiequelle mit guten Zukunftsperspektiven.

Bei der geothermischen Stromerzeugung wird die Wärme im Inneren der Erde genutzt, indem Wasser verdampft und damit eine Dampfturbine angetrieben wird.

Schon früh wurden oberflächennahe Dampflagerstätten in vulkanisch und tektonisch gestörten Gebieten entdeckt, die sehr einfach erschlossen werden konnten. Solche Anlagen sind seit Langem in den USA, auf den Philippinen, in Island und in Italien zu finden. Die Möglichkeiten für geothermische Anlagen dieser Art sind allerdings auf Gebiete mit geologischen Anomalien beschränkt. Mit tiefen Bohrungen lassen sich jedoch fast überall geothermische Kraftwerke erstellen.

Mit zunehmender Bohrtiefe steigt die Temperatur, was thermodynamisch von Vorteil ist, da dies zu einem höheren Wirkungsgrad führt. Andererseits steigen jedoch die Bohrkosten exponentiell mit der Bohrtiefe. Die optimale Bohrtiefe liegt heute im Bereich zwischen 3000 und 5000 m und bei Temperaturen von 120 bis 200 °C.

Wärme aus der Urzeit

Unsere Erde entstand – zusammen mit den anderen Planeten unseres Sonnensystems – vor etwa 4,6 Mia. Jahren aus einer rotierenden Staub- und Gaswolke, die durch ihre eigene Schwerkraft immer dichter wurde. Schliesslich entstanden durch die Zusammenballung von Staub und grösseren Brocken Körper von etlichen Kilometern Durchmesser, die als Baumaterial für unsere Planeten dienten. Durch Kollisionen zwischen ihnen wuchsen die Proto-Planeten heran, bis schliesslich die Planeten übrig blieben, die nun den grössten Teil der Materie abgezogen hatten. Die anfangs kalte und im Innern homogene Proto-Erde erwärmte sich innerhalb von rund 100 Mio. Jahren durch die Gravitationsenergie, die bei den Einschlägen der Materiebrocken frei wurde. Durch den weiteren Massenzuwachs verdichtete sich der Erdkern. Radioaktive Zerfallsprozesse beschleunigten die Erhitzung des Erdinnern noch zusätzlich. Nachdem sich die Erde auf etwa 2000 °C erhitzt hatte, wurden auch das Eisen und die meisten Silikate geschmolzen. Die schweren Eisentröpfchen wanderten immer tiefer und bildeten schliesslich im Zentrum den Eisenkern. Die leichtere Silikatschmelze wurde durch diesen Prozess nach aussen gedrängt, wo sie sich schliesslich zum Erdmantel und zur Kruste entwickelte. Die Erdkruste, die uns so stabil und sicher erscheint, ist im Vergleich zum Durchmesser unseres Planeten extrem dünn, dünner als eine Eierschale im Verhältnis zum Ei. Mit zunehmender Tiefe steigt die Temperatur im Durchschnitt etwa 3 °C pro 100 m an.

Die Erdwärme besteht heute zu etwa 30 % aus Restwärme, die durch die Entstehung der Erde verursacht wurde. Sie entwickelte sich aus der umgewandelten kinetischen Energie, die durch die Anlagerung von Materie vor ca. 5 Mia. Jahren entstand. Da das Gestein eine geringe Wärmeleitfähigkeit hat, konnte ein grosser Teil dieser Restwärme gespeichert werden. Etwa 70 % der Erdwärme entstehen durch stetigen radioaktiven Zerfall aus den Isotopen Kalium 40, Uran 235 und Uran 238 sowie Thorium 232. Dieser radioaktive Zerfall führt der Erde kontinuierlich Wärme zu, die ebenfalls durch das Gestein gespeichert wird.

Prinzip der Gewinnungsverfahren der Geothermie

Um Erdwärme zu gewinnen, werden grundsätzlich vier verschiedene Methoden angewendet: Erdwärmesonde, Tiefe Erdwärmesonde, das petrothermale System und das hydrothermale System.

Bei der Erdwärmesonde wird mit einem geschlossenen Wasserkreislauf aus einer Tiefe von bis zu 300 m der Erde

Bild 1 Geothermie-Kraftwerk in Island: Die geothermischen Kraftwerke in Island produzieren etwa einen Viertel des Strombedarfs und etwa 90 % der Heizwärme und des Warmwassers aller isländischen Haushalte.

Bild 2 Lavastrom auf dem Ätna: Unsere Erdkruste ist extrem dünn, was in vulkanischen Gebieten immer wieder gut sichtbar wird.

Bild 3 Der Geysir «Strokkur» in Island speit regelmässig kochendes Wasser aus dem Erdinnern als Fontäne in die Höhe.

Wärme entzogen. Dabei fliesst die von der Erde oder vom Grundwasser erwärmte Trägerflüssigkeit zu einer Wärmepumpe, die ein grosses Volumen der Flüssigkeit mit niedriger Temperatur auf ein kleineres Volumen mit erhöhter Temperatur verdichtet. Das Heizungssystem eines Hauses wird schliesslich mit der erwärmten Flüssigkeit betrieben.

Bei der Methode der tiefen Erdwärmesonde wird ein Loch bis in eine Tiefe von rund 2000 m gebohrt. Durch dieses Loch wird kaltes Wasser nach unten geschickt, welches sich in der Tiefe erhitzt. Das heisse Wasser wird über dieselbe Bohrung wieder an die Oberfläche zurückgeführt, damit die Wärme für ein Gebäude oder ein Wärmenetz genutzt werden kann. Dann wird das abgekühlte Wasser wieder in die Tiefe geschickt, um erneut erhitzt zu werden.

Nach dem Prinzip des hydrothermalen Systems soll in St. Gallen Wärme gewonnen werden. Dabei werden optimale geologische Voraussetzungen eines tiefen Grundwasserleiters (Aquifere) genutzt. Über eine erste Bohrung soll das bis zu 170 °C heisse Wasser an die Oberfläche befördert und schliesslich über eine zweite Bohrung wieder in die Tiefe gepresst werden, damit der Kreislauf geschlossen wird.

Beim petrothermalen System dringt man mit einer ersten Bohrung in das kristalline Gestein vor und presst unter Hochdruck Wasser in die Tiefe. Über eine zweite Bohrung wird schliesslich ein künstlicher Wasserkreislauf in Gang gesetzt. Das petrothermale System wurde beim Erdwärme-Projekt in Basel angewendet.

In Mitteleuropa sind in 4000 bis 6000 m Tiefe ideale Temperaturen vorhanden, die sich mit einem petrothermalen System zur Wärmegewinnung und Stromproduktion eignen.

Basler Geothermie-Projekt gestoppt

Am bekanntesten dürfte wohl das Basler Geothermieprojekt sein, das durch mehrere Pannen in die Schlagzeilen geriet. Basel liegt am südlichen Ende des Rheintalgrabens, also an einer Nahtstelle der europäischen Kontinentalplatte. An dieser Stelle hat sich die Erdkruste dermassen verdünnt, dass bereits in geringer Tiefe ungewöhnlich hohe Temperaturen auftreten. Bereits in 5000 m Tiefe kann in diesem Gebiet das Gestein 200 °C heiss sein. Nachdem Wasser in ein Bohrloch gepresst worden war, wurde ein Erdbeben der Magnitude 3,4 ausgelöst. Darauf folgten mehrere kleine Nachbeben. Dabei entstanden Schäden in Millionenhöhe, und das «Deep Heat Mining Projekt» wurde bis zum Vorliegen einer Risikoanalyse gestoppt. Diese Analyse hat nun Folgendes aufgezeigt: Weil weiteres Wasser unter hohem Druck in den Boden gepresst werden müsste, um den Wasserkreislauf in 5000 m Tiefe in Gang zu bringen, könnten bis zu 30 spürbare Erdbeben auftreten. Davon würden 9 Erdstösse die Stärke des Bebens vom 8. Dezember 2006 erreichen oder sogar noch übersteigen. Damit müssten weitere Gebäudeschäden von rund 40 Mio. CHF erwartet werden. Zudem würden die Erdstösse auch während des Betriebs auftreten und weitere Schäden von rund 6 Mio. CHF pro Jahr verursachen. Deshalb hat der Basler Regierungsrat entschieden, das Geothermieprojekt definitiv abzubrechen.

Résumé

Vue d'ensemble du potentiel d'une source thermique quasi inépuisable

Technologies et projets d'exploitation de la géothermie

Au cœur de la Terre règnent des températures avoisinant les 6000 °C. L'exploitation de cette source d'énergie neutre pour le climat afin de produire de l'électricité et de la chaleur est certes judicieuse, mais peut parfois aussi présenter certains risques. Cet article offre une vue d'ensemble des connaissances géologiques fondamentales de la géothermie et met en lumière les technologies d'exploitation et les projets actuels. No

St. Gallen bohrt nach heissem Wasser

Bereits in diesem Jahr soll im Westen der Stadt St. Gallen ein 550 t schwerer Bohrturm installiert werden, um in einer Tiefe von 4500 m nach heissem Wasser zu bohren. Das geplante, mit Erdwärme betriebene Heizkraftwerk soll etwa 20 000 bis 25 000 Haushalte mit Erdwärme versorgen, was etwa der Hälfte der Haushaltungen in der Stadt St. Gallen entspricht. Das Geothermieprojekt der Stadt St. Gallen ist in der Schweiz neuartig, und der Erfolg ist ungewiss. Sollte kein heisses Wasser gefunden werden, müsste das Projekt abgebrochen oder ein anderer Standort gesucht werden. Das Bohrloch hat an der Erdoberfläche einen Durchmesser von 80 bis 100 cm, in 4500 m Tiefe schliesslich nur noch 20 cm. Da in St. Gallen eine andere Technik angewendet wird als in Basel, besteht keine Erdbebengefahr.

TECHNOLOGIE **GÉOTHERMIE**

Das EU-Projekt in Soultz-sous-Forêts, Elsass

Das europäische Stimulierte Geothermische System-Projekt (SGS) in Soultz-sous-Forêts (Frankreich) wurde 1987 gestartet. Heute ist es das grösste und am weitesten fortgeschrittene geothermische Projekt zur Stromerzeugung mit Wärme aus grosser Tiefe.

Der Oberrheingraben gehört für die geothermische Energiegewinnung zu einer sehr interessanten Region, da die Erdtemperaturen mit zunehmender Bohrtiefe ungewöhnlich rasch ansteigen.

Im Sommer 2008 nahm das geothermische Kraftwerk seinen Probebetrieb auf. In vielen geothermischen Kraftwerken werden natürliche Heisswasser- oder Dampfvorkommen angezapft. Bei dieser Anlage hingegen wurden in 5000 m Tiefe bereits vorhandene Risse und Spalten im 200 °C heissen Granit durch Wasserinjektionen erweitert und damit zu einem geologischen Wärmetauscher verbunden.

Das Wasser kann über mehrere Bohrungen durch diesen Wärmetauscher zirkulieren und wird dabei erhitzt. Die auf diese Weise gewonnene Wärmeenergie kann an der Oberfläche zur Stromerzeugung oder Wärmeversorgung genutzt werden. Dabei wird das zirkulierende Wasser auf eine Temperatur von rund 175 °C erhitzt und in einem Kraftwerk zur Stromerzeugung genutzt. Danach wird das abgekühlte Wasser wieder in die Tiefe gepumpt.

Das Verfahren wird als «Hot-Dry-Rock-Technologie» bezeichnet. Durch das Einpressen von Wasser mit Drücken von bis zu 150 bar werden die im Gestein vorhandenen Risse ausgeweitet und zusätzlich neue Risse ausgebildet. Damit wird ein Wärmeübertrager mit einer riesigen Oberfläche im Gebirge zwischen den Bohrlöchern geschaffen. Während des Betriebs wird dem System durch die eine Bohrung kaltes Wasser zugeführt und an einer anderen Bohrung erwärmt wieder entgegengenommen. Das Verfahren lässt sich grossräumig und unabhängig von Wasser oder Dampfvorkommen in der Tiefe anwenden.

Bilder: Walker

Bild 4 Ausbruch des Stromboli: Ein Teil der Erdwärme stammt aus der Urzeit der Entstehung der Erde. Zudem wirken radioaktive Zerfallsprozesse im Erdinnern als weitere Wärmequelle.

Geologie

Die Vulkane liegen an den Rändern der Kontinentalplatten

Paradoxerweise wissen wir über die Urzeit des Mondes fast besser Bescheid als über die unserer Erde. Auf dem Mond blieben die Spuren seiner Entwicklung erhalten, während diese auf der Erdkugel durch Verwitterung fast gänzlich verwischt worden sind. Die ältesten datierten Gesteine der Erde sind etwa 4,5 Mia. Jahre alt. Zu dieser Zeit sah es auf unserem Planeten ganz anders aus als heute. Der Tag war damals kaum 12 Stunden lang, und die Atmosphäre hatte, abgesehen vom Stickstoff, eine völlig andere Zusammensetzung. Flüssiges Wasser existierte damals nur an wenigen Orten. Durch den Vulkanismus begann sich die Atmosphäre zunehmend zu verändern, daher wurden immer mehr Sonnenlicht und Wärme absorbiert. Dies führte zu einem Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur und damit zu einer Ausdehnung der Wasserflächen. Die Landmassen bestanden aus einem einzigen riesigen Urkontinent, der sich erst später in verschiedene kleinere Kontinente aufspaltete.

Die Kontinentalplatten schwimmen auf dem flüssigen Magma wie Eisschollen im Ozean und driften dabei pro Jahr einige Zentimeter in eine bestimmte Richtung. Beim Zusammenstossen der Kontinentalplatten gegeneinander werden Gebirge aufgefaltet, wie dies im Moment bei den Alpen und beim Himalaya der Fall ist. Driften zwei Kontinentalplatten in entgegengesetzter Richtung aneinander, können enorme Spannungen in der Erdkruste entstehen, die sich irgendwann plötzlich mit einem Ruck lösen und sich als Erdbeben bemerkbar machen. Eine solche Stelle bildet z. B. der San-Andreas-Graben in Kalifornien. In den Ozeanen befinden sich die «Nahtstellen» der Kontinente. Dort driften die Platten voneinander weg und bilden an dieser Stelle die ozeanischen Rücken.

So liegt z. B. Island auf dem Mittelatlantischen Rücken. Diese Insel besteht aus vielen Vulkanen und kann deshalb problemlos einen grossen Teil des Energiehaushalts mit Erdwärme abdecken. So produzieren die geothermischen Kraftwerke in Island etwa einen Viertel des Strombedarfs und etwa 90 % der Heizwärme und des Warmwassers aller isländischen Haushalte.

Die Vulkane sind auf der Erde nicht zufällig angeordnet. An den Übergängen von einer Kontinentalplatte zur andern befinden sich etwa 70 % der grossen Erdbebenherde und 95 % der aktiven Vulkane. An diesen Zonen ist die Erdkruste am meisten geschwächt. Das Magma findet immer wieder Möglichkeiten, durch Spalten und Risse an die Erdoberfläche zu gelangen.

Angaben zum Autor

Dr. **Andreas Walker** hat Geografie, Meteorologie und Fotografie an der Universität und der ETH Zürich studiert. Während und nach seinem Studium hat er an mehreren wissenschaftlichen Projekten und Expeditionen teilgenommen. 1992 schloss er seine Doktorarbeit über aussergewöhnliche Starkstromgewitter in unseren Breiten ab. Seit 1994 arbeitet er als freier Wissenschaftsjournalist.

5705 Hallwil, andreaswalker@gmx.ch, www.meteobild.ch